Analizator antenowy i widma – duże laboratorium w małej obudowie

Analizator KC901S

KC901S jest miernikiem częstotliwości radiowych, który obsługuje wektorowy analizator sieci na jednym porcie i skalarny analizator sieciowy na obu portach. Urządzenie umożliwia pomiar widma oraz natężenia pola i może pracować jako generator sygnałowy. Z takimi możliwościami KC-901S jest przenośnym laboratorium pomiarowym. Atrakcyjna cena i wysokie możliwości pomiarowe czynią miernik bardzo konkurencyjnym w stosunku do podobnych analizatorów innych światowych producentów.

Analizator KC-901S pracuje w zakresie częstotliwości do 3 GHz, z rozdzielczością do 1 Hz i stabilnością 1 ppm. Ma podwójną przemianę częstotliwości oraz wysoką odporność na zakłócenia. Zawiera dużą liczbę funkcji i jest wygodny w pomiarach w terenie.

Główne funkcje analizatora:

- pomiary przepustowości (filtrów, wzmacniaczy, kierunkowości anteny S21)
- pomiary fali odbitej (regulacja dopasowania impedancji sieci i badanie jakości układu zasilania anteny, DTF, S11)
- pomiar źródeł sygnałów radiowych
- wyświetlanie widma częstotliwości i natężenia pola, kontrola emisji stacji radiowych i źródła zakłóceń radiowych

KC901S jest przeznaczony do regulacji układów radiowych, takich jak filtry, wzmacniacze, splittery, sumatory do badań impedancji wyjściowej i wejściowej. Służy też do oceny jakości układu zasilania antenowego i wykrywania amplitudy sygnału na wszystkich poziomach.

Analizator jest zasilany 2 lub 4 akumulatorkami 18650 – 3,7 V/3400 mAh oraz z zasilacza ładowarki sieciowej.

Klawiatura i znaczenie funkcji

Na zdjęciu (**fot. 2**) pokazano układ klawiatury i znaczenie poszczególnych funkcji.

Włączenie urządzenia następuje po naciśnięciu przez co najmniej 1 s przycisku POWER. Po włączeniu i zabootowaniu analizator w trybie testowym pokazuje ustawienia, które zostały użyte po raz ostatni (**fot. 3**). Menu wyświetla atrybuty związane z bieżącym trybem.

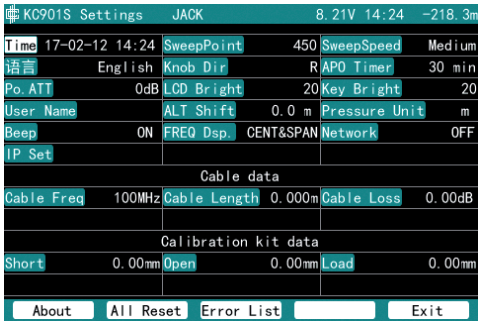
Znaczenie klawiszy (poziom pierwszy):

- CENT – ustawienie częstotliwości środkowej skanowania
- SPAN – ustawienie zakresu częstotliwości skanowania
- MODE – wejście do menu wyboru funkcji, ponowne naciskanie klawisza oznacza przesunięcie między menu wyboru funkcji i menu funkcji
- FUNC – wchodzenie i wychodzenie w setup systemu
- STOP/RUN – rozpoczynanie i kończenie skanowania
- –/+ – zmiana kroku gałki obrotowej
- MARK – wprowadzenie funkcji kursora menu
- AMP – regulacja poziomu odniesienia, pozycja trajektorii i zakres funkcji źródła sygnału
- POWER – przycisk włączenia
- SHIFT – przełączenie klawiszy w poziom 2

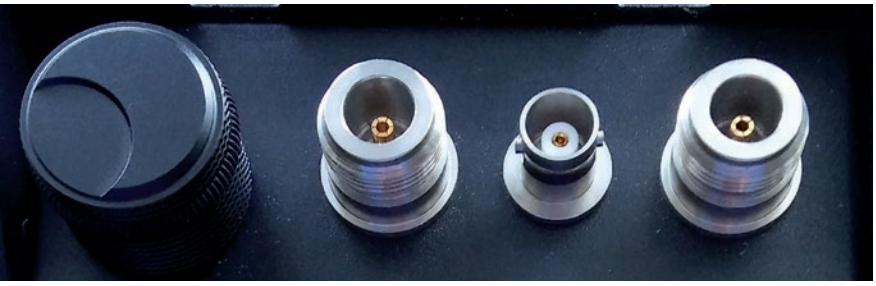
Znaczenie klawiszy (poziom drugi):

- SHIFT+CENT – ustawianie częstotliwości początkowej
- SHIFT+SPAN – ustawianie częstotliwości końcowej
- SHIFT+LOCAL – rozłączanie połączenia z komputerem i przełączenie do pracy wewnętrznego systemu miernika
- SHIFT+FUNC – resetowanie ustawień domyślnych
- SHIFT + STOP/RUN – przełączenie na pojedyncze skanowanie (w tym trybie naciskanie

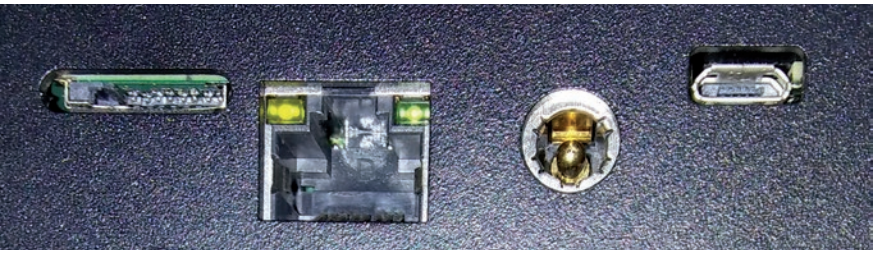
Fot. 2.



Fot. 3.



Fot. 4.



Fot. 5.

STOP/RUN powoduje kolejne skanowanie)

- SHIFT + 1 – zapisywanie danych na kartę pamięci
- SHIFT + 2 – sczytywanie wykresów i danych z karty pamięci
- SHIFT + 4 – regulacja jasności ekranu
- SHIFT + 5 – regulacja amplitudy sygnału RF
- SHIFT + 6 – ton klawiszy on/off
- SHIFT + ENTER – zablokowanie klawiszy i przełącznika obrotowego

Porty pomiarowe oraz złącza analizatora

W mierniku KC901S są trzy porty pomiarowe: dwa zewnętrzne porty RF i jeden port AF. Od prawej strony jest port wyjściowy źródła sygnału przemiatania, a po lewej stronie znajduje się port wejściowy odbiornika śledzenia. Trzeci port pośrodku podłączony jest do wewnętrznego generatora lokalnego AF (**fot. 4**).

Gniazda portów N są dość precyzyjne, w związku z tym należy zwrócić uwagę, aby ich nie uszkodzić, zwłaszcza gniazda S11. Przed połączeniem należy sprawdzić stan gniazda, jego jakość i czystość. Używanie przejściówek wymiennych wpływa na dokładność pomiaru. Gniazda są zaprojektowane na 500-krotne wkładanie i wyjmowanie wtyków, a więc po tym okresie należy je wymienić na nowe.

Z prawej strony obudowy miernika znajdują się następujące gniazda: gniazdo ładowarki-zasilacza, złącze mikro USB, gniazdo kartu mikro SD oraz gniazdo sieciowe (**fot. 5**).

Funkcje miernika

Analizator KC901S ma 7 głównych funkcji:

- pomiar SWR (S11)
- DTF (S11) – pomiar uszkodzeń kabla
- pomiar fali padającej (S21)
- analiza widma (SPEC)
- pomiar natężenia pola elektromagnetycznego (FILED)
- źródło RF (RF SOURCE)
- źródło niskich częstotliwości (AF SOURCE)

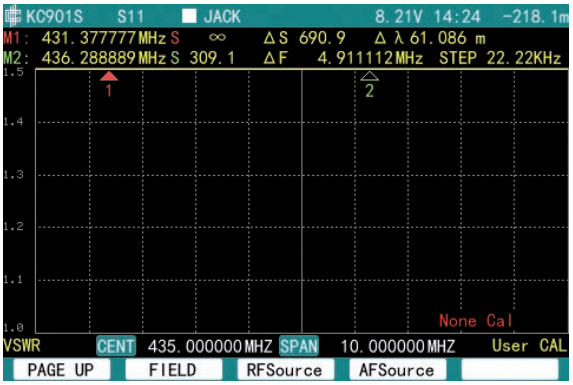
MODE używa się do wyboru funkcji (po naciśnięciu klawisza na dole wyświetlacza pojawi się lista dostępnych trybów pomiarowych). Aby przejść do dalszych trybów pomiarowych, należy nacisnąć przycisk odpowiadający PAGE DOWN (**fot. 6**).

Pierwszą aplikacją jest pomiar SWR (S11). Do pomiaru SWR używamy portu po prawej stronie miernika. Reflektometr jest rodzajem funkcji wektorowej z różnymi trybami wyświetlania, wybieranymi z menu wyświetlacza – FORMAT – SWR, RL, faza, impedancja, wykres Smitha (**fot. 7**).

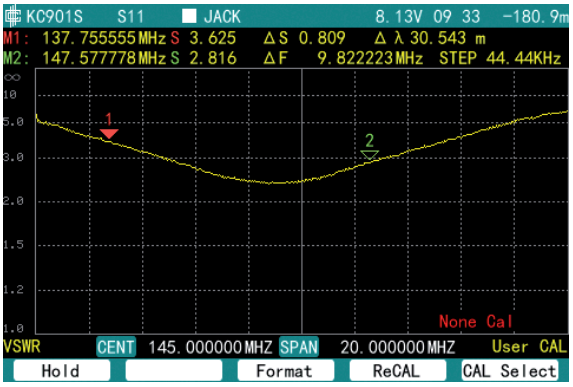
Następna aplikacja to S21 – pomiar charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowej filtrów pasmowych lub wzmacniaczy oraz wyznaczanie kierunkowości i zysku anteny. Prawy port RF jest przeznaczony do sygnału wyjściowego, a lewy do wejściowego (**fot. 8**).

Typową aplikacją trybu SPEC jest monitorowanie zajętości pasma w sposób graficzny w ustawionym zakresie pasma, zakłóceń oraz strojenie obwodów i urządzeń wytwarzających sygnały radiowe (**fot. 9**).

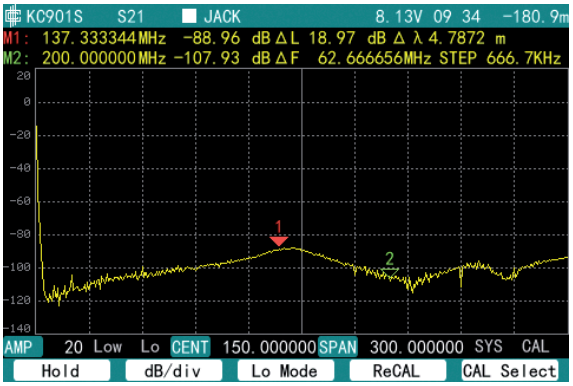
Tryb FIELD służy do pomiaru natężenia pola na danej częstotliwości oraz do poszukiwania sygnałów RF. Port miernika jest izolowany dla prądu stałego, zatem można podłączyć zewnętrzne sondy do bezpośredniego wyszukiwania parametrów sygnału z odbiornika i nadajnika. Konieczne jest dopasowanie impedancji oraz wyregulowanie



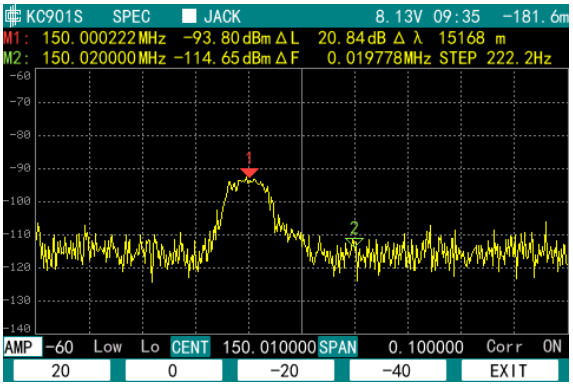
Fot. 6.



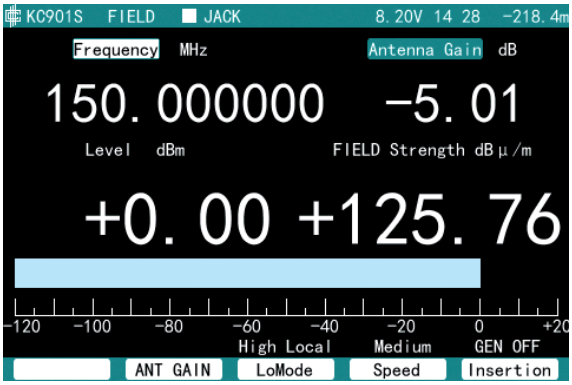
Fot. 7.



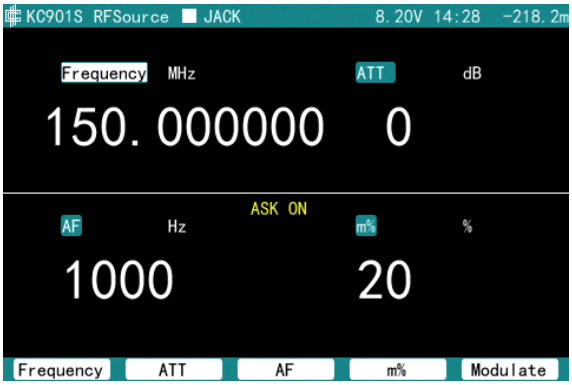
Fot. 8.



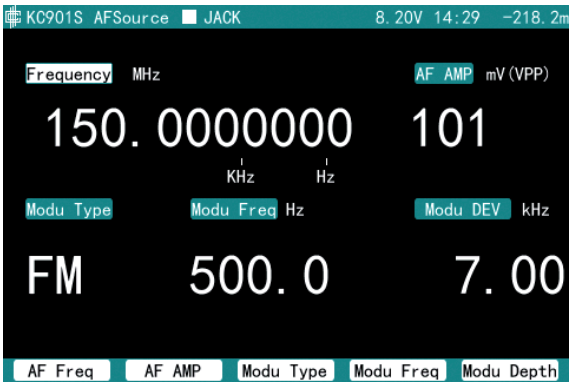
Fot. 9.



Fot. 10.



Fot. 11.



Fot. 12.

tłumika do identyfikacji sygnału z nadajnika.

W trybie FIELD można kontrolować w czasie emisję radiową, w celu wykrycia nieprawidłowości (**fot. 10**). Aktualnym pomiarem jest poziom portu wejściowego. Poprzez wprowadzanie zysku energetycznego anteny pomiarowej (Antena Gain) otrzymamy bezwzględną wartość natężenia pola. Z tego samego poziomu możemy mierzyć tłumienie układu. Tłumienie jest pomiarem pojedynczej częstotliwości – S21. Po wprowadzeniu trybu FIELD należy wybrać funkcję Insertion po prawej stronie menu wyświetlacza – GEN ON.

Źródło wewnętrznego sygnału radiowego wytwarza sygnał o mocy miliwatów, który jest transmitowany w eter. Można go użyć do określenia czułości odbiorczej stacji radiowej z bliskiej odległości, w szczególności czułości odbiorczej stacji przekaźnikowych. W pewnym zakresie, poziom sygnału radiowego można regulować przez wbudowany tłumik (**fot. 11**).

Źródło sygnału AF SOURCE generuje sygnał o określonej częstotliwości z możliwością wyboru rodzaju i głębokości modulacji oraz częstotliwości modulującej (**fot. 12**).

Regulacja funkcji pomiarowych

Podczas uruchamiania miernik domyślnie przejdzie w stan STOP, po jednokrotnym przemiataniu. Jeżeli chcemy, aby miernik rozpoczął przemiatanie, należy uruchomić go ręcznie przyciskiem RUN/STOP na klawiaturze (po jednokrotnym przyciśnięciu przyrząd rozpocznie działanie w sposób ciągły). Przy kolejnym naciśnięciu nastąpi zatrzymanie działania.

RUN/STOP przycisk obsługuje również funkcje 2 poziomu wraz z klawiszem SHIFT.

Jednoczesne naciśnięcie obu klawiszy spowoduje, że przycisk RUN/STOP będzie działał jako pojedyncze wyzwalanie pomiaru (na wyświetlaczu zaświeci się znak ||). W tym momencie każdorazowe naciśnięcie tego przycisku spowoduje jednorazowe przemiatanie. Kolejne przyciśniecie dwóch klawiszy SHIFT + RUN/STOP spowoduje skasowanie tej funkcji i powrót do pierwotnego ustawienia.

- w trybie pojedynczego przemiatania miernik wykonuje pojedyncze przemiatanie po naciśnięciu przycisku RUN/STOP
- w trybie przemiatania miernik przemiata w sposób ciągły
- kiedy przemiatanie jest zakończone, zasilanie generatora RF zostanie całkowicie wyłączone.

Ustawianie głównych parametrów pomiarowych

Aby ustawić częstotliwość środkową, należy wcisnąć przycisk CENT i wprowadzić z klawiatury numerycznej. Jeżeli częstotliwość jest w pobliżu poprzednio ustawionej, można użyć gałki obrotowej (kręcąc lewo-prawo) lub przycisków +/– na klawiaturze.

Aby ustawić zakres skanowania +/– od częstotliwości CENT, należy nacisnąć przycisk SPAN. Można również ustawić częstotliwość początkową i końcową skanowania.

Do ustawienia częstotliwości początkowej skanowania trzeba nacisnąć SHIFT+CENT, a do ustawienia częstotliwości końcowej skanowania SHIFT+SPAN .

Aby dostosować częstotliwość odniesienia oraz lokalizacji krzywej góra/dół, należy nacisnąć przycisk AMP, a następnie wyregulować gałką obrotową (lewo/prawo) lub przyciskami +/– na klawiaturze. Krzywa SWR nie podlega regulacji.

Ustawienie punktu skanowania można dokonać przy użyciu opcji SWEEP POINT, która znajduje się w menu FUNC. W zwykłych przypadkach należy ustawić na 450 punktów. Zazwyczaj nie wymaga to zmiany. Miernik wybierze ten parametr automatycznie, proporcjonalnie według kroku częstotliwości (STEP).

Ustawienie prędkości skanowania znajduje się w menu FUNC. Prędkość ustawiona jest na trzy podzakresy: szybko, średnio, wolno. Zwyczajowo używa się poziomu średniego. Przy użyciu szybszego skanowania dokładność może być mniejsza.

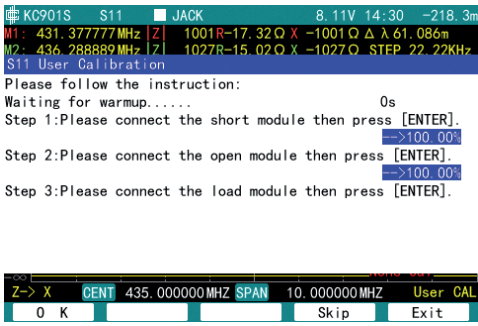
W tym czasie w prawym górnym rogu wyświetlacz pokazuje (*). Jest to znak, pokazujący użytkownikowi, że pomiar nie jest dokładny. W trybie menu S21 można przełączać zakres współrzędnych poziomo i pionowo poprzez wybranie opcji (dB/div).

Magazynowanie danych

Dane można przechowywać na karcie SD w postaci „zrzutów ekranu" (w celu zapisania aktualnego ekranu należy w funkcji pomiarów posłużyć się SHIFT +1). Kiedy komputer jest podłączony do analizatora przez kabel USB, KC901S staje się dyskiem wirtualnym USB.

Kalibracja

Miernik został skalibrowany fabrycznie, ale częste pomiary, zmiany temperatury mogą wpro-



Rys. 13.

wadzać z czasem błędy czy niedokładności w pomiarach. W związku z tym co jakiś czas powinno się przeprowadzać kalibrację miernika, aby jego pomiary były wiarygodne w dłuższym czasie. Zaleca się używanie tych samych kabli i wtyczek (nie należy stosować wszelkiego rodzaju redukcji, przejściówek).

Istnieją trzy rodzaje kalibracji: fabryczna, systemowa i użytkownika.

Kalibracja fabryczna: wysokiej rozdzielczości wszystkich zakresów częstotliwości przed wypuszczeniem urządzenia z fabryki. Algorytm skalowania i kalibracji przeprowadzany jest w oparciu o interpolacje wysokiej rozdzielczości. Ustawienia kalibracji fabrycznej nie mogą być skasowane bezpośrednio przez użytkownika. Kalibracja systemowa jest taka sama jak kalibracja fabryczna, ale umożliwia operacje własne użytkownika. RESET ustawień fabrycznych prowadzi do nałożenia na dane systemowe ustawień fabrycznych.

Kalibracja użytkownika jest wykonywana przez użytkownika w dowolnym czasie. Taka kalibracja jest bardziej precyzyjna od fabrycznej i koryguje każdy punkt danych bez błędów interpolacji. Jest ona skuteczna na danej częstotliwości, ale jeżeli następuje zmiana parametrów lub częstotliwości, kalibracja danych staje się bezużyteczna. Końcowa kalibracja będzie czasowo zapamiętana, dane kalibracji wchodzą w życie z powrotem do ostatecznych parametrów ustawień.

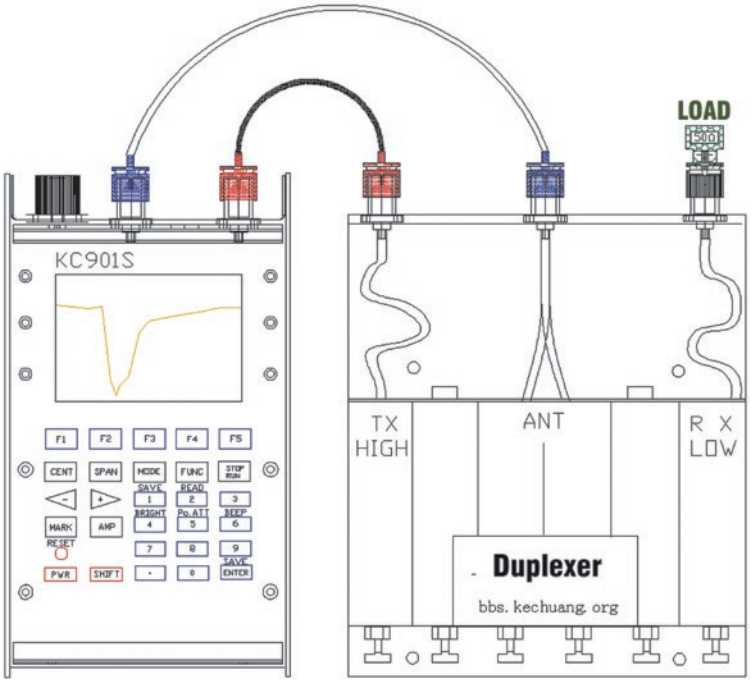
Do kalibracji niezbędne są 3 wtyki N: zwarty (open cicruit), otwarty (open), obciążony oporem bezindukcyjnym 50 (load). Kalibrację przeprowadza się po wyborze: User CAL a następnie RE CAL (**fot. 13**). Po kalibracji należy sprawdzić, czy krzywe są na właściwych poziomach przy odłączonym kablu (open-circuit) oraz load 50. W trybie SWR krzywe powinny być powyżej 10 przy rozwartym gnieździe oraz poniżej 1,1 przy dobrej jakości obciążeniu 50.

Kompensacja kabli

Aby wyeliminować wpływ kabla zasilającego antenę testową, należy skompensować jego wpływ na parametry anteny, używając funkcji kompensacyjnej miernika.

Po pierwsze należy zmierzyć lub wyznaczyć elektryczną długość kabla. Jeżeli współczynnik skrócenia (velocity factor) jest znany, można określić długość elektryczną poprzez obliczenie iloczynu długości mechanicznej kabla i długości elektrycznej (nie będzie to tak dokładne jak pomiar bezpośredni). Po naciśnięciu klawisza FUNC należy wprowadzić długość elektryczną i tłumienność kabla dla danej częstotliwości.

Tłumienność kabla oznacza jednostronną tłumienność linii zasilającej na „częstotliwości kabla" i najlepiej przeprowadzić ją w funkcji S21. W sytuacji kiedy nie można wykonać kalibracji z drugiej strony kabla, nie można zastosować trybu S21. W tym przypadku trzeba zastosować dane tłumienności deklarowane przez producenta kabla koncentrycznego. Można również dokonać pomiaru w trybie S11 poprzez zdalny otwarty obwód. Jeżeli krzywa waha się, należy wybrać grzbiet z mniejszym tłumieniem, który jest w pobliżu końcowej częstotliwości badanej. Po wprowadzeniu parametru kabla pomiarowego analizator będzie eliminował wpływ kabla na mierzoną antenę, filtr czy wzmacniacz.

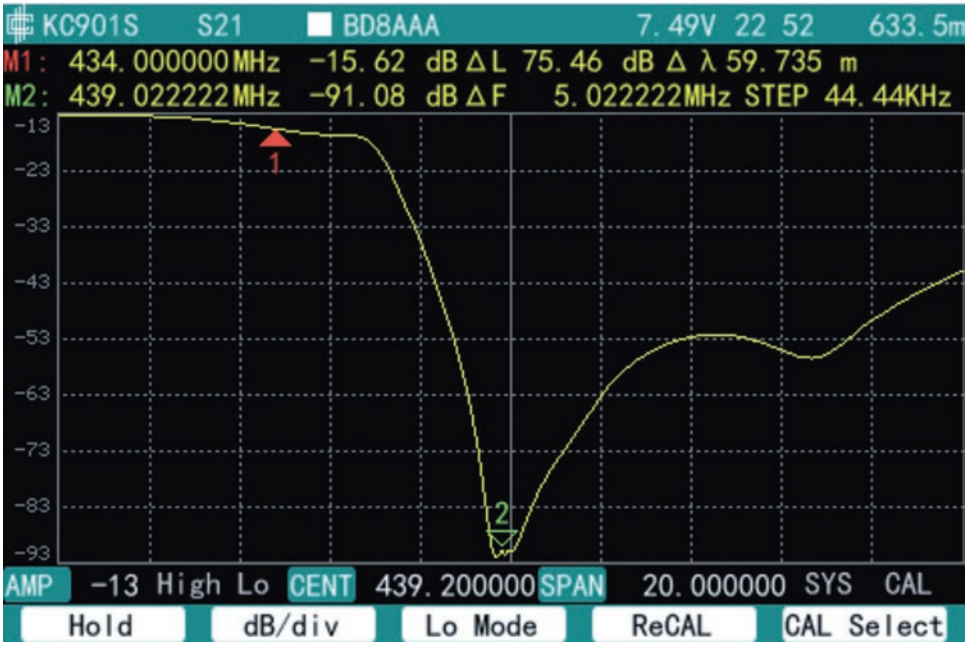


Rys. 1.

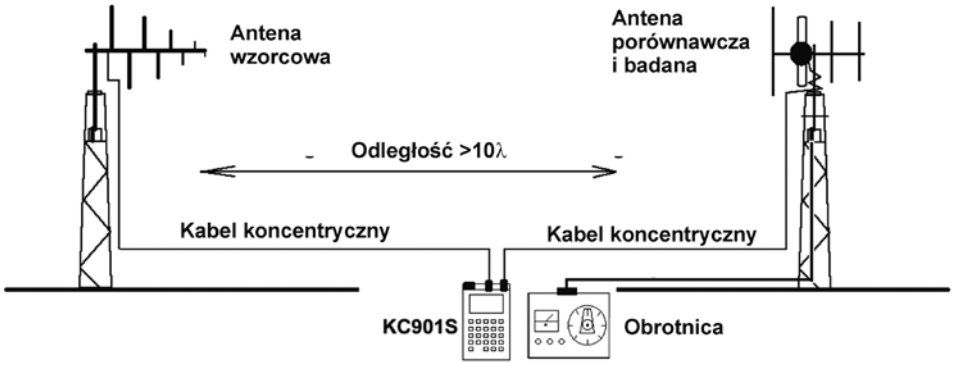
Przykładowe pomiary

1. Pomiar i strojenie dupleksera przemiennika

Tłumienność i współczynnik izolacji dupleksera bezpośrednio



Fot. 14.



Rys. 2.

wpływają na jakość pracy przemiennika. KC901S zapewnia pomiar izolacji do 100 dB w zakresie częstotliwości VHF i UHF, dzięki czemu duplekser może być dostrojony do optymalnego stanu. Do tych pomiarów służy sztuczne obciążenie 50 Ω i dwa kable koncentryczne zakończone wtykami N50. Preferowane jest przymocowanie miernika do stołu warsztatowego.

Pomiar polega na pracy miernika w trybie S21 i na przepuszczaniu sygnału przez duplekser przy użyciu dwóch portów pomiarowych (**rysunek 1**). Szczegółowy opis przeprowadzenia pomiaru znajduje się w instrukcji obsługi urządzenia. Przykładowy wykres pomiaru przepustowości dipleksera pokazano na zdjęciu (**fot. 14**).

2. Pomiar zysku anteny i wyznaczanie charakterystyki promieniowania anteny

Wykorzystując funkcję S21 analizatora, można uzyskać poziomą charakterystykę anteny, tłumienie wsteczne lub zysk energetyczny anteny badanej. Do tych pomiarów potrzebna jest otwarta przestrzeń (co najmniej 20 długości fali) lub docelowe miejsce użytkowania anteny (**rysunek 2**).

Należy przygotować odpowiednio długie kable pomiarowe i połączyć je z anteną wzorcową, podłączoną do gniazda S21 (lewe) oraz antenę badaną do gniazda S11 (prawe). Obie anteny powinny być zamontowane na masztach w odległości minimalnej 10 x lambda. Przy częstotliwościach poniżej 100 MHz wygodniej jest wykorzystać dwa analizatory lub generator sygnałowy i analizator.

Obracając anteną mierzoną o określony kąt, należy dokonywać odczytów siły sygnału w poszczególnych krokach w dB, a na końcu należy wykonać wykres zysku anteny w funkcji kąta promieniowania. Powyższe pomiary mogą być wykonane przy wykorzystaniu trybu pomiaru tłumienia FIELD.

Do pomiaru zysku anteny należy na jednym maszcie zamontować antenę wzorcową, a na drugim antenę o znanym zysku – dipol półfalowy lub izotropową GP 1/4. Po zmierzeniu amplitudy sygnału, na stanowisko drugie należy założyć antenę badaną. Otrzymany pomiar plus zysk anteny o znanym zysku daje zysk anteny badanej. W czasie pomiarów nie należy zmieniać częstotliwości, aby otrzymać dokładne i porównywalne pomiary (pomiary należy wykonywać z dala od anteny).

3. Pomiar długości elektrycznej linii transmisyjnych

KC901S precyzyjnie mierzy długość elektryczną linii transmisyjnej w obwodzie zamkniętym i otwartym. W trybie S11 wybierz gładką i powtarzającą się okresowo część wykresu, aby zmierzyć różnicę częstotliwości cyklu przesunięcia fazowego na wyświetlaczu PHASE.

Długość elektryczna to różnica częstotliwości podzielona przez 2 (**fot. 15**).

Na wykresie długość elektryczna 1435 m, długość fizyczna kabla – 1005 m. Z tego można obliczyć współczynnik skrócenia na 0,7018. Na zwartym i otwartym końcu strata na kablu wynosi połowę stratności na powrocie.

4. Wykrywanie źródła zakłóceń

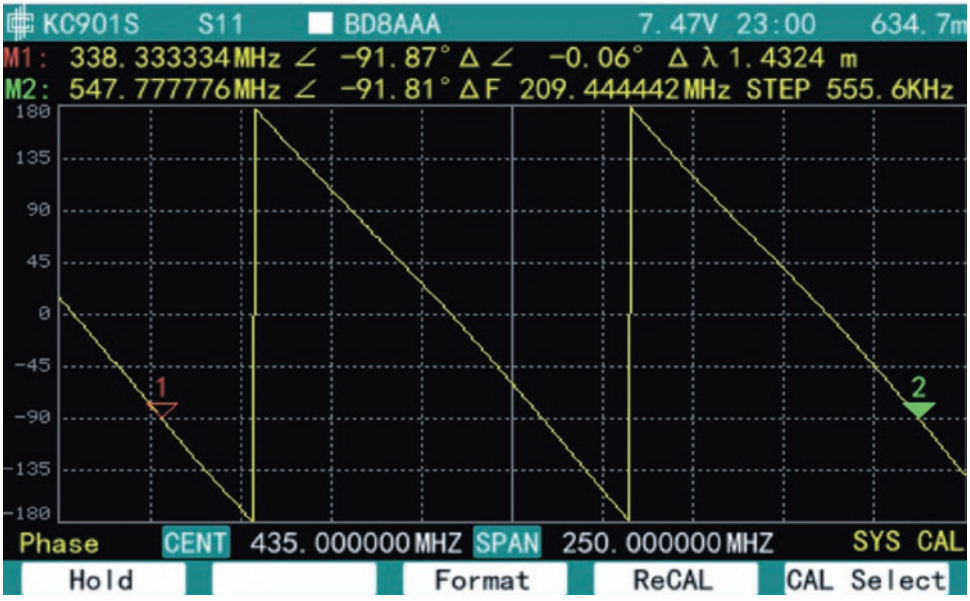
Po wprowadzeniu trybu widma należy wprowadzić prawdopodobną częstotliwość zakłóceń, a zakres skanowania nie więcej niż 1 MHz. Przy małych zakłóceniach REF powinno być ustawione na –60 dBm. Wykrywanie źródła zakłóceń dokonuje się anteną kierunkową, aż do wystąpienia znacznego wybrzuszenia na krzywej w centrum skanowanego zakresu widma częstotliwości. Po znalezieniu kierunku sygnału trzeba wyznaczyć busolą azymut sygnału – prosta na mapie. Potem trzeba powtórzyć pomiary anteną kierunkową z innego punktu w terenie (**fot. 16**).

Krzyżowanie się dwóch prostych jest prawdopodobnym miejscem źródła zakłóceń.

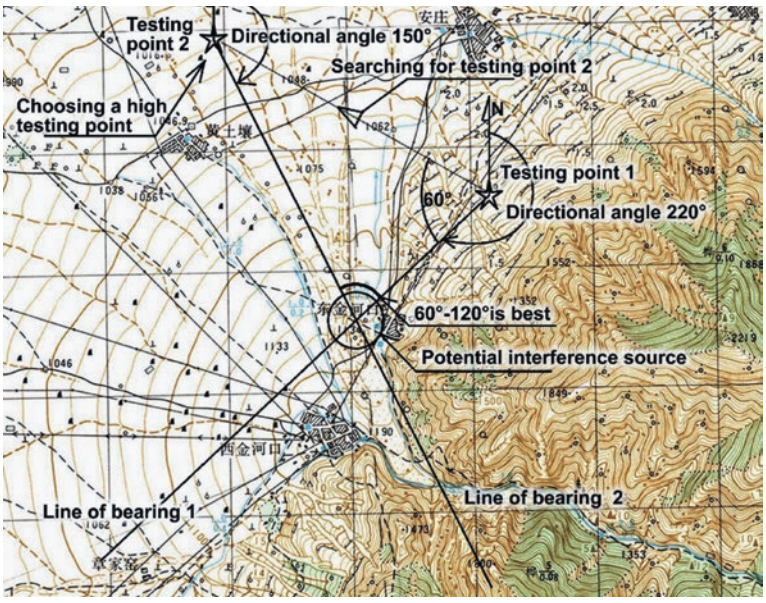
Punkty pomiarowe powinny być wyżej położone, z dala od budowli. Podczas zbliżania się do źródła zakłóceń wyregulować poziom sygnału AMP lub wybrać tryb FIELD.

Do lokalizacji źródła zakłóceń potrzebne jest duże doświadczenie. Z powodu dyfrakcji i odbicia sygnału istnieje wiele pozornych kierunków, szczególnie przy pomiarach w miastach i na obszarach górskich.

Dla sygnałów wąskopasmowych należy wykrywać źródła zakłóceń w trybie FIELD, która jest używana do pomiaru emisji natężenia pola naokoło anteny radiostacji.



Fot. 15.



Fot. 16.

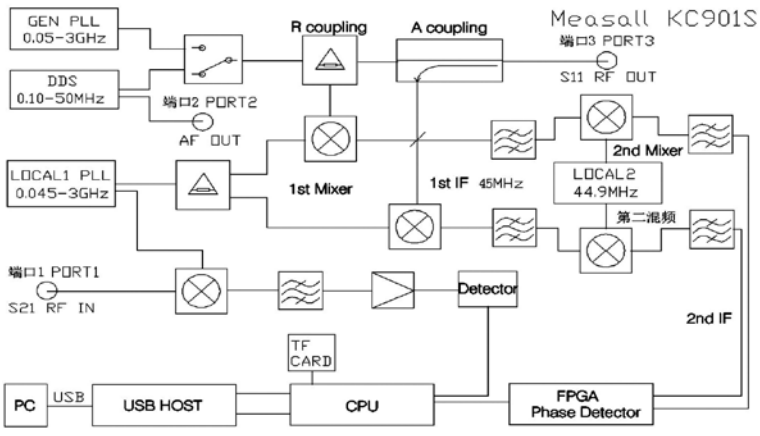
Budowa i zasada działania analizatora

Na **rysunku 3** przedstawiono schemat blokowy analizatora. Obwód pomiarowy KC901S składa się z jednego źródła sygnału i trzech odbiorników. Źródło sygnału jest podzielone na dwa pasma częstotliwości: niższe AF do 50 MHz, gdzie częstotliwości są generowane przez DDS oraz wyższe, powyżej 50 MHz, generowane przez PLL. Sygnały są przełączane w jeden sygnał RF. Dwa z trzech odbiorników są używane odpowiednio do pomiaru S11, trzeci odbiornik do pomiaru S21 i widma częstotliwości.

Podczas pomiaru S11 uformowany sygnał jest podawany do portu wyjściowego PORT 3. Różnicę faz i różnicę amplitudy otrzymujemy po przejściu dodatnich i ujemnych sygnałów przez dwa oddzielne odbiorniki z podwójną przemianą do demodulatora fazowego i obwodu detektora. Przyjmując metodę zliczania w celu wygenerowania cyfrowego sygnału fazowego, KC901S mierzy amplitudę detektorem logarytmicznym. Wszystkie sygnały w trybie S11 są otrzymywane z różnicy fazowej i amplitudowej.

Podczas pomiaru S21 źródło sygnału jest podawane na port 3 przez mostek, ale żadna detekcja nie następuje przed przejściem przez DUT. Następnie sygnał wchodzi na PORT 1 i jest poddawany przemianie częstotliwości i wzmocnieniu IF. Bezwzględna wartość poziomu jest otrzymywana przez detektor amplitudy fali. Wynik pomiaru transmisji jest otrzymywany po porównaniu danych pomiarowych i kalibracyjnych (dane transmisyjne z pamięci analizatora).

W trybie AF SOURCE, DDS jest używany bezpośrednio do generowania sygnału AF.



Rys. 3.

Ładowanie baterii

Prąd ładowania baterii wynosi 1 A. Czas ładowania 4 fabrycznych baterii o pojemności 3400 mAh wynosi 7 h (przy dwóch bateriach o pojemności 2200 mAh wynosi 2,5 h). Analizator automatycznie wyłącza ładowanie po osiągnięciu napięcia 8,4 V (w wysokiej czy niskiej temperaturze czas pracy baterii ulega zmniejszeniu).

Jacek Matuszczyk SP2MBE

Parametry techniczne:

- zakres częstotliwości pomiaru transmisji: 100 kHz–3 GHz
- zakres częstotliwości pomiaru fali odbitej: 250 kHz–3 GHz
- poziom wyjściowy sygnału (wartości średnie): +3 dBm (2 mW)/(1 MHz–2 GHz), 0 dBm/(2–3 GHz)
- zakres zmian wewnętrznego tłumika: 0–30 dB
- czułość wejściowa: –107 dBm (1 uV)/(300 kHz–1GHz), –87 dBm (10 uV)/(1–2,2 GHz)
- maksymalny poziom sygnału dla wszystkich portów: 15 V/DC, +20 dBm
- zakresy pomiarowe dla S21 (średnie wartości): 100 dB/(1–500 MHz), 70 dB/(500 MHz–3 GHz)
- rozdzielczość: 1 Hz (poziom 0,01 dB, faza 0,01°)
- dokładność poziomu sygnału: ± 1,5 dB (S11, widmo i pole), ± –0,5 dB (S21, tłumienie)
- bezwzględna kierunkowość: 18 dB/(3–15 MHz, 2–3 GHz), 20 dB/(15 MHz–2 GHz)
- dokładność fazy: 2°/3 MHz–1 GHz, 5°/(1–2,5 GHz, 1–3 MHz), 8°/(2,5–3GHz, 300 kHz–1 MHz)
- kierunkowość wewnętrzna mostka: 18 dB/(3–15 MHz, 1,5–3 GHz), 30 dB (15 MHz–1,5 GHz)
- stabilność częstotliwości: ± 1 ppm / rok przy 25°C
- napięcie zasilania: 11,5–32 V (zasilacz zewnętrzny), 7,2–8,4 V (akumulatorki)
- czas pracy na akumulatorkach: 7 h (widmo, pole), 5 h (S21,S11, tłumienie), 20 h (tryb STOP, jasność 10%)
- zakres temperatur pracy: –30...+60°C (zasilacz)
- wymiary, ciężar: 200×114×46 mm, 2 kg z bateriami

Fot. 20.